

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-312054

(43)Date of publication of application : 07.11.2000

(51)Int.Cl.

H01S 5/24  
H01L 21/205  
H01L 27/14  
H01L 27/15  
H01L 31/0232  
// H01L 21/203

(21)Application number : 11-115659

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 23.04.1999

(72)Inventor : TAKAHASHI KOJI

(30)Priority

Priority number : 10117951  
11046185

Priority date : 28.04.1998  
24.02.1999

Priority country : JP

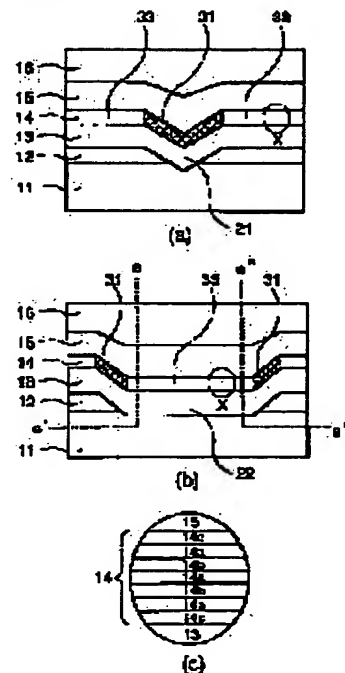
JP

## (54) SEMICONDUCTOR ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To form areas having different forbidden band widths without heat treatment by one time of crystal growth by forming a compound semiconductor layer containing nitrogen and a group V element other than nitrogen as components, by growing crystals on a semiconductor substrate on which recessed sections are formed to expose a plurality of different crystal planes.

**SOLUTION:** A p-type GaAs crystal which becomes a current constricting layer 12 is grown on a low-resistance n-type GaAs substrate 11. A groove section 21 having a narrow V-shaped bottom face and another groove section 22 having a broad flat bottom face are respectively formed in areas A and B, by performing photolithographic patterning and wet etching using a mixed solution of hydrochloric acid, hydrogen peroxide, and ultra pure water as an etchant on the surface of the crystal. Then a GaInNAs crystalline layer is made to grow on the substrate 11 by successively laminating an n-type AlGaAs lower clad layer 13, a GaInNAs well layer 14a, an AlGaAs barrier layer 14b, a guide layer 14c, an upper clad layer 15, and a contact layer 16 upon another on the substrate 11.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-312054  
(P2000-312054A)

(43) 公開日 平成12年11月7日 (2000.11.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト (参考)	
H 0 1 S 5/24		H 0 1 S 3/18	6 6 7	4 M 1 1 8
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205		5 F 0 4 5
27/14		27/15	C	5 F 0 7 3
27/15			D	5 F 0 8 8
		21/203	M	5 F 1 0 3
審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 23 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平11-115659  
(22) 出願日 平成11年4月23日 (1999. 4. 23)  
(31) 優先権主張番号 特願平10-117951  
(32) 優先日 平成10年4月28日 (1998. 4. 28)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)  
(31) 優先権主張番号 特願平11-46185  
(32) 優先日 平成11年2月24日 (1999. 2. 24)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005049  
シャープ株式会社  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
(72) 発明者 高橋幸司  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内  
(74) 代理人 100103296  
弁理士 小池 隆彌

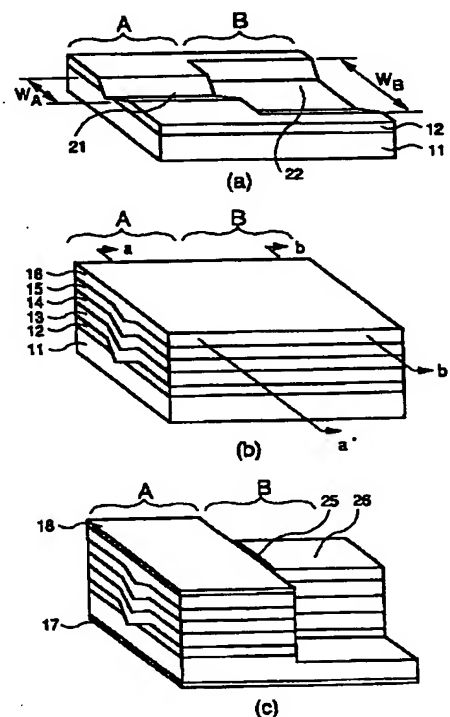
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体素子の製造方法、及び半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 1回の結晶成長で光集積素子の導波路構造を作製し、また、それに適した素子構造を提供する。

【解決手段】 凹凸基板の上に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を積層し、凹凸に対応して窒素の取り込みが変化することを利用する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 凹部及び／又は凸部を形成して複数の異なる結晶面を露出させた半導体基板上に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を結晶成長させる工程を含んでなることを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項2】 窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層は、窒素原料と、窒素以外のV族元素原料とを交互に供給することによって成長される工程を含んでなることを特徴とする請求項1に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項3】 基板表面の結晶面の違いによって、窒素と窒素以外のV族元素との組成比を制御して、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を形成する工程を含んでなることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項4】 前記窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層は、量子井戸構造における井戸層をなすことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項5】 前記窒素以外のV族元素は、砒素、リン、アンチモンから少なくとも1種類選択されてなることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の半導体素子の製造方法。

【請求項6】 請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、凹部及び／又は凸部を形成して複数の異なる結晶面を露出させた半導体基板上に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有するコア層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させる工程とを含んでなることを特徴とする半導体光集積素子の製造方法。

【請求項7】 前記複数の異なる結晶面は、(100)面からA方向〔011〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面から選択され、傾斜角度のより小さい面上に光導波路素子を、傾斜角度のより大きい面上に発光素子及び／又は受光素子を形成してなることを特徴とする請求項6に記載の半導体光集積素子の製造方法。

【請求項8】 前記複数の異なる結晶面は、(100)面からB方向〔0-11〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面から選択され、傾斜角度のより大きい面上に光導波路素子を、傾斜角度のより小さい面上に発光素子及び／又は受光素子を形成してなることを特徴とする請求項6に記載の半導体光集積素子の製造方法。

【請求項9】 {100}面を主面とする半導体基板上に、(100)面からA方向〔011〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面からなる側面を有し、深さはほぼ同一で幅が異なる連続

した少なくとも1組の溝又はメサを形成する工程と、前記溝又はメサの上方に、少なくとも1層からなる下部クラッド層と、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有するコア層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させて導波路構造を形成する工程と、幅のより狭い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に発光素子及び／又は受光素子を形成する工程と、幅のより広い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に光導波路素子を形成する工程と、を含んでなることを特徴とする請求項6に記載の半導体光集積素子の製造方法。

【請求項10】 {100}面を主面とする半導体基板上に、(100)面からB方向〔0-11〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面からなる側面を有し、深さはほぼ同一で幅が異なる連続した少なくとも1組の溝又はメサを形成する工程と、前記溝又はメサの上方に、少なくとも1層からなる下部クラッド層と、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有するコア層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させて導波路構造を形成する工程と、幅のより広い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に発光素子及び／又は受光素子を形成する工程と、幅のより狭い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に発光素子及び／又は受光素子を形成する工程と、を含んでなることを特徴とする請求項6に記載の半導体光集積素子の製造方法。

【請求項11】 請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、共振器方向の端面部と中央部とで、異なる複数の結晶面を露出させた凹部及び／又は凸部を有する半導体基板上に、少なくとも1層からなる下部クラッド層と、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有する活性層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項12】 前記異なる複数の結晶面は、少なくとも(100)面からA方向〔011〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面から成り、端面部の傾斜角度がより小さく、中央部の傾斜角度がより大きく形成されてなることを特徴とする請求項11に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項13】 前記異なる複数の結晶面は、少なくとも(100)面からB方向〔0-11〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面から成り、端面部の傾斜角度がより大きく、中央部の傾斜角度がより小さく形成されてなることを特徴とする請求項11に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項14】 請求項1乃至5に記載の半導体素子の製

造方法のいずれかを用い、

活性層の近傍に周期的な凹凸からなる回折格子を形成し、該回折格子上方に、該回折格子の凹凸形状を反映すると共に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層積層して、吸収性回折格子を作製する工程を含んでなることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項15】 請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、

周期的な凹凸からなる回折格子を形成し、該回折格子上方に、該回折格子の凹凸形状を反映すると共に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層積層して、利得性回折格子を作製する工程を含んでなることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項16】 請求項1乃至15のいずれかによって製造された半導体レーザ素子を半導体レーザ素子部として、半導体光集積素子の他の部分と同時に製造してなることを特徴とする半導体光集積素子の製造方法。

【請求項17】 請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、発光素子及び／又は受光素子と、光導波路素子とを少なくとも含み、これらを同一基板上に集積形成した半導体光集積素子であり、前記発光素子及び／又は受光素子のコア層と、前記光導波路素子のコア層とは、いずれも、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を含んでなり、この、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層における窒素組成比は、光導波路素子よりも、発光素子及び／又は受光素子の方が大きくなることを特徴とする半導体光集積素子。

【請求項18】 前記発光素子及び／又は受光素子と、光導波路素子とは、(100)面からA方向〔011〕方向に $0\sim 55^\circ$ の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより大きい面上に発光素子及び／又は受光素子が形成され、傾斜角度のより小さい面に光導波路素子が形成されてなることを特徴とする請求項17に記載の半導体光集積素子。

【請求項19】 前記発光素子及び／又は受光素子と、光導波路素子とは、(100)面からB方向〔0-11〕方向に $0\sim 55^\circ$ の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより小さい面上に発光素子及び／又は受光素子が形成され、傾斜角度のより大きい面に光導波路素子が形成されてなることを特徴とする請求項17に記載の半導体光集積素子。

【請求項20】 請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、半導体レーザ素子であり、その活性層が、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成

として含む化合物半導体層を有し、その共振器方向の端面より中央部の方が、窒素組成比が大きいことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項21】 (100)面からA方向〔011〕方向に $0\sim 55^\circ$ の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより大きい面上に中央部が、傾斜角度のより小さい面上に端面が形成されてなることを特徴とする請求項20に記載の半導体レーザ素子。

【請求項22】 (100)面からB方向〔0-11〕方向に $0\sim 55^\circ$ の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより小さい面上に中央部が、傾斜角度のより大きい面上に端面が形成されてなることを特徴とする請求項21に記載の半導体レーザ素子。

【請求項23】 請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、半導体レーザ素子であり、

活性層の近傍に設けられた周期的な凹凸からなる回折格子の上に、該凹凸形状を反映した、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層が設けられてなり、回折格子の周期的な凹凸に応じて化合物半導体層の窒素組成が周期変動しており、窒素組成のより大きな領域にて活性層からの光を吸収することによって、吸収の周期変動を生ぜしめてなる吸収性回折格子を備えてなることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項24】 請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、半導体レーザ素子であり、

周期的な凹凸からなる回折格子の上に、凹凸形状を反映した、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層が設けられてなり、回折格子の周期的な凹凸に応じてその窒素組成が周期変動することによって活性層の利得の周期変動を生ぜしめてなることを特徴とする半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体光集積素子の製造方法、半導体レーザ素子の製造方法、半導体光集積素子の構造、及び半導体レーザ素子の構造に関する。

【0002】

【従来の技術】発光素子（半導体レーザ、発光ダイオード等）、光導波路素子（分波器、合波器、フィルター、変調器などを含む）、受光素子（フォトダイオード等）が一つの半導体基板上に集積化された半導体光集積素子は、小型で安価な高機能光デバイスを実現する上で重要である。

【0003】特に、半導体基板の上への一回の結晶成長によって上記の各素子を一度に形成してモノリシック化する方法は、個別の各素子をアライメントしながら配置

することによって作製する方法と比べてアライメントが不要である為に製造歩留りの向上、コストの低減が可能であり、全体の小型化も容易に実現できる。

【0004】半導体光集積素子の構造としては、発光素子、光導波路素子、受光素子の間での光学的な結合効率を高くする為、それぞれのコア層の位置が一致し、連続したものであることが望ましい。また、発光素子から発せられる光が光導波路素子中を伝搬する際に余分な吸収損失を受けないように、光導波路素子は発光素子から発せられる光に対して透明であることが必須である。その為には、光導波路素子のコア層の禁制帯幅は、発光素子のコア層（活性層）の禁制帯幅よりも広い必要がある。

【0005】このような要請を満たす半導体光集積素子の製造方法、構造として量子井戸から成るコア層を部分的に無秩序化する方法が提案されている。特開平3-89579号公報に、多重量子井戸（MQW）を活性層とする半導体レーザ素子（DFBレーザ）と、MQWが無秩序化されたコア層を有する光導波路素子（光変調器）とを集積する方法及び素子の構造が開示されている。以下、図13を参照しながら製造方法を説明するとともに、構造についても説明する。

【0006】まず、回折格子20を部分的に形成したp型InP基板11の上に、有機金属気相成長（MOVPE）法によって、p型InGaAsP光導波層19、MQWからなるコア層14、n型InP上クラッド層15、n型InGaAsPコンタクト層16を順次結晶成長する（図13（a））。ここでMQWコア層14は、10周期のInGaAs井戸層（厚さ8nm）と、InGaAsP障壁層（ $\lambda_g=1.3\mu\text{m}$ 相当、厚さ11nm）とからなる。次にDFBレーザとなる領域Aの表面をSiO<sub>2</sub>膜などの誘電体膜41で覆って、光変調器となる領域Bに表面からコア層に達するまで硫黄を拡散する。硫黄が拡散されたコア層はMQW構造が壊れて無秩序化層42となる（図13（b））。次に横モードを制御するための埋め込み構造を形成する。まず長て方向にそって中央部をメサ形状にエッチング加工した後、鉄をドーブした高抵抗InP埋め込み層43をMOVPE法でメサの両側に結晶成長する。次に電極17、18をつけた後、2つの領域の間にエッチングによる分離溝25を形成する。最後に劈開によって切り出して図13（c）に図示する半導体光集積素子が完成する。

【0007】製造方法および構造上の特徴は、DFBレーザ領域AはMQWからなる活性層を含み、変調器領域Bは活性層と同じMQW構造が無秩序化された半導体層（無秩序化層）を含むことである。拡散やイオン注入などによってMQWに特定の不純物が導入されると、MQW構造が無秩序化して、MQWの平均組成を持ったバルク半導体層に変化し、禁制帯幅がわずかに大きくなる。つまり、変調器領域はDFBレーザから発せられる光に対して透明になる。光変調器はレーザ光に対して透明で

あるために光の損失がなく伝搬することができ、変調器の電極に電界を印加すると伝搬するレーザ光が効率よく変調される。

【0008】上記の半導体光集積素子の製造方法では、発光素子、受光素子、光導波路部を同時に作製でき、複雑な加工プロセスを伴わない特徴を有する。また上記の方法で作製された半導体光集積素子は、発光素子の発光層、受光素子の光吸収層、光導波路部の光ガイド層等のコア層を連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、光学的な結合効率の大きな集積素子が作製できる特徴がある。

【0009】また、上記の従来例で用いられた量子井戸から成るコア層を部分的に無秩序化する方法は、他の種類の半導体レーザの製造方法に利用されている。Y. Suzuki等は、ELECTRONICS LETTERS;第20巻, 1984年, 383~384頁において、量子井戸を活性層とする半導体レーザの端面にだけ不純物を導入することによって無秩序化を行い、「窓構造」と呼ばれる光を吸収しない端面を形成して高出力レーザを得ている。また、特開平7-106697号公報には、活性層の直上に設けた吸収性のMQWガイド層を周期的に無秩序化することにより得られる、吸収量が周期変化する吸収性回折格子を備えた利得結合分布帰還型半導体レーザが開示されている。

【0010】また、特開平3-49285号公報には、MQW活性層を周期的に無秩序化することによって得られる、活性層の利得が周期変化する利得性回折格子を備えた利得結合分布帰還型半導体レーザが開示されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】前述した従来の製造方法は、MQWを部分的に無秩序化する為に、熱拡散またはイオン注入とアニール処理の組み合わせといった手法により、外部から高温の不純物を導入している。

【0012】この時の熱拡散やアニール処理では、結晶成長が終わった基板を長時間に渡って高温で保持する必要がある。例えば、J. J. Coleman等は、Appl. Phys. Lett. 第40巻, 1982年, 904頁において、Siのイオン注入と、675℃の高温で4時間もの長時間のアニール処理を行うことによって無秩序化を行っている。半導体レーザ等のpn接合デバイスをこのような高温で長時間の熱処理にさらすと、クラッド層などに結晶成長時にドーピングされた不純物等、本来拡散させたくない不純物まで拡散を生じてしまう。すると、活性層への不純物のオートドーピングが生じて発光効率が著しく低下し、動作電力が著しく上昇したり寿命が短くなるなど、半導体レーザの特性に著しい劣化が見られる問題があった。

【0013】本発明は上記の問題を解消する為になされたもので、高温による熱処理を伴わずに容易に発光素

子、受光素子、光導波路素子が集積された半導体光集積素子を製造する方法および好適な素子構造を提供する。特に、製造方法においては、高温・長時間の熱処理プロセスを伴わないことはもちろん、発光素子、受光素子、光導波路部を一回の結晶成長で同時に作製でき、複雑な加工プロセスを伴わないこと、発光素子の発光層、受光素子の光吸収層、光導波路部のコア層が連続しており、各層の位置ずれ又は縫ぎ目が全くなく、光の過剰損失が小さくなるような半導体光集積素子を製造するのに適した方法を提供することを目的とする。また半導体光集積素子においては、発光素子、受光素子、光導波路素子を一括して製造するのに好ましい構成を提供することを目的とする。また、上記の目的の為に用いられる手段は、端面窓構造型半導体レーザ、吸収性回折格子を備えた利得結合分布帰還型半導体レーザ、利得性回折格子を備えた利得結合分布帰還型半導体レーザの製造にも応用される。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】請求項1においては、凹部及び／又は凸部を形成して複数の異なる結晶面を露出させた半導体基板上に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を結晶成長させる工程を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0015】すなわち、下地の結晶面により窒素混晶比がわずかに変化し、その時に禁制帯幅が大きく変化する原理を利用する製造方法であり、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を熱処理なしで作製することができる。このような作用により上記の目的が達成されるものである。

【0016】請求項2においては、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層は、窒素原料と、窒素以外のV族元素原料とを交互に供給することによって成長される工程を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0017】すなわち、窒素混晶比の下地の結晶面によって異なる程度は、V族原料を交互に供給することによって拡大し、請求項1における作用を好適に得ることができる。

【0018】請求項3においては、基板表面の結晶面の違いによって、窒素と窒素以外のV族元素との組成比を制御して、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を形成する工程を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0019】すなわち、下地の結晶面により窒素混晶比を制御することにより請求項1、2における作用をより好適に得ることができる。

【0020】請求項4においては、前記窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層は、量子井戸構造における井戸層をなすことにより上記の目的を達成する。

【0021】すなわち、窒素混晶比に分布が出来ても、量子井戸構造における井戸層程度の薄層であれば歪を内包することにより、格子定数の分布に起因する格子欠陥が入らず、請求項1～3における作用をより好適に得ることができる。

【0022】請求項5においては、前記窒素以外のV族元素は、砒素、リン、アンチモンから少なくとも1種類選択されてなることにより上記の目的を達成する。

【0023】すなわち、窒素と共に混晶化する元素として砒素、リン、アンチモンの中から少なくとも1種類選択することにより、窒素混晶比のわずかな変化により大きな禁制帯幅の変化を生じるため、本願の構成を実現するのに適した結晶を得ることができる。

【0024】請求項6においては、請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、凹部及び／又は凸部を形成して複数の異なる結晶面を露出させた半導体基板上に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有するコア層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させる工程を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0025】すなわち、下地の結晶面により窒素混晶比がわずかに変化し、その時に禁制帯幅が大きく変化する原理を利用する製造方法であり、一回の結晶成長でコア層の禁制帯幅の異なる複数の導波路構造を熱処理なしで作製することができる。このような作用により上記の目的が達成されるものである。

【0026】請求項7においては、前記複数の異なる結晶面は、(100)面からA方向〔011〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面から選択され、傾斜角度のより小さい面上に光導波路素子を、傾斜角度のより大きい面上に発光素子及び／又は受光素子を形成してなることにより上記の目的を達成する。

【0027】すなわち、傾斜角度の異なる複数のA方向傾斜面の上に結晶成長を行うことにより、請求項6の作用を効果的に得ることができるものである。

【0028】請求項8においては、前記複数の異なる結晶面は、(100)面からB方向〔0-11〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面から選択され、傾斜角度のより大きい面上に光導波路素子を、傾斜角度のより小さい面上に発光素子及び／又は受光素子を形成してなることにより上記の目的を達成する。

【0029】すなわち、傾斜角度の異なる複数のB方向傾斜面の上に結晶成長を行うことにより、請求項6の作用を効果的に得ることができるものである。

【0030】請求項9においては、(100)面からA方向〔011〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面からなる側面を有し、



深さはほぼ同一で幅が異なる連続した少なくとも1組の溝又はメサを形成する工程と、前記溝又はメサの上方に、少なくとも1層からなる下部クラッド層と、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有するコア層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させて導波路構造を形成する工程と、幅のより狭い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に発光素子及び／又は受光素子を形成する工程と、幅のより広い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に光導波路素子を形成する工程と、を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0031】すなわち、幅が異なり、A方向傾斜面を側面を持つ複数の連続した溝又はメサの上方に導波路構造を結晶成長することにより、請求項6の作用を効果的に得ることができるものである。

【0032】請求項10においては、(100)面からB方向〔0-11〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面からなる側面を有し、深さはほぼ同一で幅が異なる連続した少なくとも1組の溝又はメサを形成する工程と、前記溝又はメサの上方に、少なくとも1層からなる下部クラッド層と、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有するコア層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させて導波路構造を形成する工程と、幅のより広い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に発光素子及び／又は受光素子を形成する工程と、幅のより狭い溝又はメサの上方に形成された導波路構造を元に発光素子及び／又は受光素子を形成する工程と、を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0033】すなわち、幅が異なり、B方向傾斜面を側面にもつ複数の連続した溝又はメサの上方に導波路構造を結晶成長することにより、請求項6の作用を効果的に得ることができるものである。

【0034】請求項11においては、請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、共振器方向の端面部と中央部とで、異なる複数の結晶面を露出させた凹部及び／又は凸部を有する半導体基板上に、少なくとも1層からなる下部クラッド層と、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層有する活性層と、少なくとも1層からなる上部クラッド層とを順次結晶成長させることにより上記の目的を達成する。

【0035】すなわち、複数の面方位からなる基板の上に窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を結晶成長することにより、容易に端面に窓構造を有する半導体レーザ素子が得られるものである。

【0036】請求項12においては、前記異なる複数の結晶面は、少なくとも(100)面からA方向〔011〕方

向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持ち、端面部の傾斜角度がより小さく、中央部の傾斜角度がより大きく形成されてなることにより上記の目的を達成する。

【0037】すなわち、レーザ素子の端面と中央部とで傾斜角度の異なる複数のA方向傾斜面の上に結晶成長することにより、請求項11の作用を効果的に得ることができるものである。

【0038】請求項13においては、前記異なる複数の結晶面は、少なくとも(100)面からB方向〔0-11〕方向に0°～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持ち、端面部の傾斜角度がより大きく、中央部の傾斜角度がより小さく形成されてなることにより上記の目的を達成する。

【0039】すなわち、レーザ素子の端面と中央部とで傾斜角度の異なる複数のB方向傾斜面の上に結晶成長することにより、請求項11の作用を効果的に得ることができるものである。

【0040】請求項14においては、請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、活性層の近傍に周期的な凹凸からなる回折格子を形成し、該回折格子上方に、該回折格子の凹凸形状を反映すると共に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層積層して、吸収性回折格子を作製する工程を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0041】すなわち、複数の面方位からなる回折格子の上に窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を結晶成長することにより、容易に吸収の周期構造を有する半導体レーザ素子が容易に得られるものである。

【0042】請求項15においては、請求項1乃至5に記載の半導体素子の製造方法のいずれかを用い、周期的な凹凸からなる回折格子を形成し、該回折格子上方に、該回折格子の凹凸形状を反映すると共に、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を少なくとも1層積層して、利得性回折格子を作製する工程を含んでなることにより上記の目的を達成する。

【0043】すなわち、複数の面方位からなる回折格子の上に窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を結晶成長することにより、容易に利得の周期構造を有する半導体レーザ素子が得られるものである。

【0044】請求項16においては、請求項11乃至15のいずれかによって製造された半導体レーザ素子を半導体レーザ素子部として、半導体光集積素子の他の部分と同時に製造してなることにより上記の目的を達成する。

【0045】すなわち、禁制帯幅の分布を有する構造を、熱処理を伴わず、一度の結晶成長で同時に製造することができることから、特性の優れた素子をより少ない



製造工程で製造することができるようになる。このような作用により上記の目的を達成するである。

【0046】請求項17においては、請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子、は、発光素子及び／又は受光素子と、光導波路素子とを少なくとも含み、これらを同一基板上に集積形成した半導体光集積素子であり、前記発光素子及び／又は受光素子のコア層と、前記光導波路素子のコア層とは、いずれも、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を含んでなり、この、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層における窒素組成比は、光導波路素子よりも、発光素子及び／又は受光素子の方が大きくなることにより上記目的を達成する。

【0047】すなわち、窒素混晶比がわずかに異なった領域を作ることにより禁制帯幅を大きく分布させることができる為、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を半導体光集積素子のコア層として用い、かつ光導波路素子よりも発光素子及び／又は受光素子の方が大きくすることにより、発光素子から発した光を低損失で光導波路素子に伝搬させ、かつ効率よく受光素子で吸収させる構成を得ることができるようになる。

【0048】請求項18においては、前記発光素子及び／又は受光素子と、光導波路素子とは、(100)面からA方向〔011〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより大きい面上に発光素子及び／又は受光素子が形成され、傾斜角度のより小さい面に光導波路素子が形成されてなることにより上記の目的を達成する。

【0049】すなわち、傾斜角度の異なる複数のA方向傾斜面の上に構成することにより、請求項17の構成を好適に得ることができる。

【0050】請求項19においては、前記発光素子及び／又は受光素子と、光導波路素子とは、(100)面からB方向〔0-11〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより小さい面上に発光素子及び／又は受光素子が形成され、傾斜角度のより大きい面に光導波路素子が形成されてなることにより上記の目的を達成する。

【0051】すなわち、傾斜角度の異なる複数のB方向傾斜面上に構成することにより請求項17の構成を好適に得ることができるものである。

【0052】請求項20においては、請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、半導体レーザ素子であり、その活性層が、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を有し、その共振器方向の端面部よりも中央部の方

が、窒素組成比が大きいことにより上記の目的を達成する。

【0053】すなわち、わずかに窒素混晶比を分布させることにより禁制帯幅を大きく分布させることができるため、窒素混晶比がわずかに異なる窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を中央部と端面部に配置することが半導体レーザ素子の構成として好適である。

【0054】請求項21においては、(100)面からA方向〔011〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより大きい面上に中央部が、傾斜角度のより小さい面上に端面部が形成されてなることにより上記の目的を達成する。

【0055】すなわち、傾斜角度の異なる複数のA方向傾斜面の上に構成することにより、請求項20の構成を好適に得ることができるものである。

【0056】請求項22においては、(100)面からB方向〔0-11〕方向に0～55°の範囲で傾斜した面、あるいはそれと結晶学的に等価な面を持つ基板の上に形成され、傾斜角度のより小さい面上に中央部が、傾斜角度のより大きい面上に端面部が形成されてなることにより上記の目的を達成する。

【0057】すなわち、傾斜角度の異なる複数のB方向傾斜面の上に構成することにより、請求項20の構成を好適に得ることができるものである。

【0058】請求項23においては、請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、半導体レーザ素子であり、活性層の近傍に設けられた周期的な凹凸からなる回折格子の上に、該凹凸形状を反映した、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層が設けられてなり、回折格子の周期的な凹凸に応じて化合物半導体層の窒素組成が周期変動しており、窒素組成のより大きな領域にて活性層からの光を吸収することによって、吸収の周期変動を生ぜしめてなる吸収性回折格子を備えてなることにより上記の目的を達成する。

【0059】すなわち、わずかに窒素混晶比を分布させることにより禁制帯幅を大きく分布させることができるため、窒素混晶比がわずかに異なる窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を吸収の周期変動構造として用いることが半導体レーザ素子の構成として好適である。

【0060】請求項24においては、請求項1乃至5のいずれかに記載の方法を用いて製造された半導体素子は、半導体レーザ素子であり、周期的な凹凸からなる回折格子の上に、凹凸形状を反映した、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層が設けられてなり、回折格子の周期的な凹凸に応じてその窒素組成が周期変動することによって活性層の利得の周期変

調を生ぜしめてなることにより上記の目的を達成する。

【0061】すなわち、わずかに窒素混晶比を分布させることにより禁制帯幅を大きく分布させることができるため、窒素混晶比がわずかに異なる窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層を利得の周期変調構造として用いることが半導体レーザ素子の構成として好適である。

【0062】

【発明の実施の形態】（実施の形態1）本発明の実施形態1として、GaInNAsを井戸層とするMQWを活性層に有する半導体レーザ素子と光導波路素子とを集積する方法について図1を参照しながら示す。A面を側面にもつ二種類の溝部を有する基板の上にGaInNAsからなる活性層／コア層を含む導波路構造を作製する点が発明のポイントである。

【0063】ここで「A面」とは、(100)面を[011]方向へ約25°傾斜した面及びそれと結晶学的に等価面の総称であると定義する。例えば、(100)面から[011]方向へ約25°傾斜した面及びそれと結晶学的に等価面が{311}A面、約55°傾斜した面及びそれと結晶学的に等価面が{111}A面になる。また、(100)面に対する[011]方向の様に、傾斜することによってA面が現われる方向及びそれと結晶学的に等価な方向を、「A方向」あるいは「{111}A面方向」と定義する。

【0064】同様に、「B面」とは、(100)面を[0-11]方向へ約25°傾斜した面及びそれと結晶学的に等価面の総称であると定義する。例えば、(100)面から[0-

下クラッド層13 : n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As, 層厚0.2μm

活性層14 : 三重量子井戸

井戸層14a : ノンドープGa<sub>0.935</sub>In<sub>0.065</sub>NyAs<sub>1-y</sub>,  
層厚8nm

障壁層14b : ノンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As, 層厚10nm

ガイド層14c : ノンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As, 層厚30nm

上クラッド層15 : p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As, 層厚1μm

コンタクト層16 : p<sup>+</sup>型GaAs, 層厚0.5μm

この時の結晶成長には、Ga, Al, In, As源として固体原料を、N原料としてアンモニアガス(NH<sub>3</sub>)を用いたMBE法を使用し、成長温度を600℃とした。なお、井戸層であるGaInNAsの結晶成長は、図3に示すようなシーケンスによってV族原料を交互供給することにより行った。すなわち、まず工程αで合計が1原子層分に相当するGa源とIn源を供給し、III族終端面を形成する。次に、工程βで十分なAs源を供給してAs終端面を形成する。この時、As原子は結晶の表面に1原子層分だけ吸着し、余分なAs原子は蒸発する。次に、工程γで一定時間だけN源を供給し、最表面のAs原子の一部をN原子で置き換える。この3つ

11]方向へ約25°傾斜した面及びそれと結晶学的に等価な面が{311}B面、約55°傾斜した面及びそれと結晶学的に等価な面が{111}B面になる。また、(100)面に対する[0-11]方向の様に、傾斜することによってB面が現われる方向及びそれと結晶学的に等価な方向を、「B方向」あるいは「{111}B面方向」と定義する。

【0065】この点は、以下に示す他の実施の形態についても同様である。

【0066】以下に、製造手順を追いながら素子構造についても詳しく説明する。

【0067】まず、MBE法により、(100)面を表面に有する低抵抗n型GaAs基板上に11に電流狭窄層12となるp型GaAsを厚さ0.5μm結晶成長する。次にその表面に、通常のホトリソグラフィによるパターンニングと、塩酸、過酸化水素水、超純水の混液をエッチング液とするウエットエッチングを用いて、図1(a)に示すように領域Aには幅の狭いV字型の底面をもつ溝部21を、領域Bには幅の広い平坦な底面をもつ溝部22を設ける。図1(a)において、W<sub>A</sub>は4μm、W<sub>B</sub>は10μmとし、エッチング深さを1μmとした。溝21, 22の長て方向における側面には、{311}A面から成る斜面が露出していた。

【0068】次に、図1(a)のように加工された基板の上に、図1(b)のように導波路構造を構成する各層を積層する。図1(b)のa-a', b-b'で示された断面の構造は、それぞれ図2(a), (b)及び(c)に示されたようになる。積層される各層の材料、層厚(平坦部への成長層で計測)は次の通りである。

【0069】

の工程から成る1周期で1分子層のGaInNAs混晶の結晶成長が完了し、これらの一連の工程を繰り返すことにより所望の層厚のGaInNAs結晶を得た。

【0070】最後の工程として、図1(c)に示す様に領域Aと領域Bとの間に幅2μmの分離溝25の作製をホトリソによるマスクプロセスとドライエッチングにより行う。分離溝25は領域Aの半導体レーザにおける一方のファブリペローミラーとなる。対向するファブリペローミラーは同じようにドライエッチングで作製してもよいし、劈開によって作製してもよい。次に、領域Bを幅4μmのストライプ状の導波路26を残すように、その外側部分の除去をドライエッチングにより行う。除去

する部分は図2(b)において $e-e'$ 、 $e'-e''$ 、 $e''-e'''$ 間の点線で示されているように基板11にまで達する。最後に領域Aの半導体レーザ部分に、n型/p型それぞれの電極17、18を蒸着により形成して、半導体光集積素子を完成した。

【0071】ここで、MQWの井戸層を構成するGaInNAsから成る層を形成する工程に、以下の点で本発明のポイントがある。図3の工程γにおいて、最表面のAsと置き換えられて結晶に取り込まれるN原子の量は、N源の供給時間と供給量以外に、基板の面方位によっても大きく影響を受ける。どの方向にも傾斜していない(100)面ではAs原子はGa原子と2本のボンドで結合しているのに対し、A方向に傾斜された面方位を有する基板の場合には表面のステップ端のAs原子はGa原子と一本のボンドで結合している為にN原子と置き換わり易く、一方でB方向に傾斜された場合にはステップ端のAs原子はGa原子と3本のボンドで結合している為にN原子と置き換わりにくい。

【0072】この為にA方向に傾斜された面方位を有する基板を用いた場合には図3の工程γにおいてより多くのN原子がAs原子と置換されて成長層に取り込まれ、N組成の大きなGaInNAs結晶が得られる。

【0073】図4に、GaInNAs結晶の成長時における、N組成比と、GaAs基板の(100)面からのオフ方向とオフ角度との相関を示す。図4では、本実施例のようにV族原料を交互に供給した場合と、全ての原料を同時に供給した場合とを示している。全ての原料を同時に供給した場合も面方位によるNの取り込みの違いの影響を受けて基板面方位による差が現れる。一方で、V族原料を交互に供給して表面のAs原子をN原子と置き換えながら結晶成長を行った場合、基板面方位による影響が大きく、より好ましい成長方法と言える。

【0074】図1(a)のように加工されたGaAs(100)基板の最表面には、主面である(100)面の他に、溝部の長て方向の側面には{311}A面が露出している。この基板の上にV族元素としてAsとNを含む材料を結晶成長すると、主面である(100)面上に結晶成長した部分よりも{311}A面上に結晶成長した部分の方がN原子と置き換わるAs原子の割合が多く、わずかにN組成が大きくなる。図2において量子井戸31における井戸層であるGaInNAs結晶はA面上に作製されていることからN組成が $y=0.027$ と大きく、MQWの禁制帯幅は $0.95\text{ eV}$ (波長 $1.31\text{ }\mu\text{m}$ 相当)となっていた。一方で量子井戸33においては(100)面上に形成されていることからN組成が小さく $y=0.018$ であり、禁制帯幅は $1.08\text{ eV}$ ( $1.15\text{ }\mu\text{m}$ 相当)であった。

【0075】なお、組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じるが、GaInNAs層は臨界膜厚以下であることから結晶欠陥が誘発されることはない。A面上の

GaInNAs層は基板に対して0.1%程度の引っ張り歪を、(100)面上のGaInNAs層は0.1%程度の圧縮歪を受けている。図2(a)における量子井戸31を波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ でレーザ発振する半導体レーザの活性層として利用した場合、図2(b)においては量子井戸33が光導波路のコア層となる為に半導体レーザから発せられる光は光導波路部で吸収を受けることがなく伝搬することができる。

【0076】本発明の半導体光集積素子の構造には、以下の点で発明のポイントがある。GaInNAs混晶においては、GaInAsのうちのAsの一部(数%以下)をNに置換してGaInNAs混晶が作られるわけであるが、Nの混晶化に伴って禁制帯幅は著しく変化し、狭くなる。

【0077】図5に、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}_y\text{As}_{1-y}$ 混晶において、In混晶比 $x$ を一定( $x=0.08$ )のままN混晶比 $y$ を変化させた場合の禁制帯幅の変化の様子をAとし、N混晶比 $y$ を一定( $x=0.025$ )のままIn混晶比 $x$ を変化させた場合の禁制帯幅の変化の様子をBとして、図示している。GaInNAs混晶においては、Inの混晶比に対する変化率は約 $-1.1\text{ [eV/(In混晶比)]}$ であるのに対して、Nの混晶比に対する禁制帯幅の変化率は約 $-15.5\text{ [eV/(N混晶比)]}$ であり一桁以上も大きく、N組成がわずかに異なる領域を作製することによって禁制帯幅を大きく分布させることができる。

【0078】波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ または $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 帯に対する半導体光集積素子において、半導体レーザの活性層と光導波路層のコア層を共にGaInNAsを井戸層とする量子井戸で構成すれば、両者でわずかにN組成を変えるだけで済み、同一基板上に半導体レーザと光導波路層とを両方同時に作る半導体光集積素子に適用する構成として好ましい構成と言える。

【0079】このようにして作製した集積素子の半導体レーザ部分に、上下の電極17、18を通して電流を流すと、電流狭窄層12によって狭窄された電流は活性層のうちのV字型部分に注入され、閾値電流 $10\text{ mA}$ 、波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ でレーザ発振した。従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、同様の構造の単体の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。

【0080】このように、(100)面上に導波路のコア層を、A方向傾斜面上に半導体レーザの活性層を形成した結果、導波路は半導体レーザから発せられる光に対して透明になり、余分な光吸収や散乱を受けることなく導波路領域を伝搬し、導波路部の半導体レーザが無い側の端面から効率良くレーザ光を取り出すことができた。発光素子の発光層と光導波路部の光ガイド層とが連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は縫ぎ目が全くなり、光の過剰損失、散乱は

非常に小さかった。

【0081】実施形態1として一つの半導体レーザ素子に一本の導波路だけを集積したものを示したが、幾つかの変形例を作製することができた。

【0082】第一の変形例として、さらに受光素子を集積化したものについて説明する。図6に示すように基板にまで達する垂直な分離溝25を2か所に設けると、領域A1は二つの分離溝25をファブリペローミラーとする半導体レーザとして機能し、領域A2は受光素子であるフォトダイオードとして機能し、領域Bは光導波路素子として機能させることが出来た。領域A1の半導体レーザから発せられるレーザ光は、出射端の一方は領域A2のフォトダイオードで吸収されて電気信号として検出され、他方の端面からの出射光は領域Bの導波路を伝搬する。

【0083】第二の変形例として、半導体レーザ部の端面に窓領域を設けたものについて説明する。GaAs基板11に、図7(a)に示すような幅の広い溝22、幅の狭い溝21、幅の広い溝22が交互に並んだパターンを通常のホトリソグラフィとウエットエッチングによって得る。各溝の長て方向の斜面には、{311}A面が露出している。この上に上記の実施形態1の同様のGaInNAsを井戸層とする導波路構造を積層する。図7(a)において、領域Aが半導体レーザ素子として機能し、領域Awが半導体レーザ素子の端面の窓領域になる。領域Bは光導波路素子となる。層構造の積層の後、ドライエッチングによって分離溝25を作製し、半導体レーザ部分に電極17, 18を形成すると図7(b)に示す素子が完成する。半導体レーザ部、導波路素子部には適宜リッジ構造や埋め込みヘテロ構造等の横方向の導波路構造を作ることができる。

【0084】領域Aにおける半導体レーザ素子においては、レーザの活性層のうちの中央部分は{311}A面上に形成されていることから禁制帯幅0.95eV(波長1.3μm相当)の量子井戸となり、レーザの端面近傍の活性層は{100}面上に形成されていることから禁制帯幅1.08eV(波長1.15μm相当)となる。レーザ発振は波長1.3μm相当の禁制帯幅をもつ活性層の利得によって生じ、端面部分は波長1.3μmの光に対して透明な「窓」となる。窓領域を設けること

により、レーザ端面での光吸収が減少し、レーザの高出力化、長寿命化の達成が出来た。また、半導体レーザから出射される波長1.3μmの光は、波長1.15μm相当の禁制帯幅をもつコア層をもつ領域Bの光導波路を損失なく伝搬した。

【0085】なお、図7(b)において両端面を劈開により作製し、領域Aだけを単体の半導体レーザ素子として取り出すことも可能であることは言うまでもない。端面に窓領域をもつ半導体レーザそのものも、半導体レーザの端面に窓領域となる透明な導波路が集積化された一種の半導体集積素子と言える。

(実施の形態2)本発明の実施形態2として、GaInNAsを井戸層とするMQWを活性層に有する半導体レーザ素子と光導波路素子とを集積する方法について図8を参照しながら示す。実施形態1と最も大きく異なる点は、実施形態1では基板に溝を作製して溝を埋めるように導波路構造を積層していたのに対し、本実施形態ではストライプ状のメサの上に導波路構造を積層している点である。

【0086】以下に、製造手順を追いながら素子構造についても詳しく説明する。

【0087】まず、(100)面を表面に有する低抵抗n型GaAs基板11に、図8(a)に示すように領域Aには幅の狭いストライプ状のメサ23を領域Bには幅の広い平坦な頂部をもつストライプ状のメサ24をエッチング加工することにより設ける。図8(a)において、 $W_A$ は2μm、 $W_B$ は10μmとし、メサの高さを1.5μmとした。領域Aが半導体レーザ部、領域Bが光導波路部となる。メサ23, 24の長て方向における側面には、{111}A面から成る斜面が露出していた。

【0088】次に、図8(a)のように加工された基板の上に、導波路構造を構成する各層を積層する。半導体レーザ部となる幅の狭いメサ23の上に形成された層構造の断面を図8(b)に、光導波路部となる幅の広いメサ24の上に形成された層構造の断面を図8(c)に示す。積層される各層の材料、層厚(平坦部への成長層で計測)は次の通りである。

【0089】

- 下クラッド層13 : n型In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P, 層厚0.2μm
- 活性層14 : 五重量子井戸
- 井戸層14a : ノンドープGa<sub>0.905</sub>In<sub>0.095</sub>NyAs<sub>1-y</sub>, 層厚8nm
- 障壁層14b : ノンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As, 層厚10nm
- ガイド層14c : ノンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As, 層厚30nm
- 上クラッド層15 : p型GaAs, 層厚1μm
- コンタクト層16 : p<sup>+</sup>型GaAs, 層厚0.5μm

この時の結晶成長には、Ga, Al, In, As源として固体原料を、N原料としてジメチルヒドラジン(DM

eHy)を用いたMBE法を使用し、成長温度を550℃とした。GaInNAs層の結晶成長は、原料を全て

同時に供給することによって行った。

【0090】図8(a)のように加工されたGaAs(100)基板の最表面には、主面である(100)面の他に、メサの長て方向の側面には{111}A面から成る斜面が露出している。この基板の上にV族元素としてAsとNを含む材料を上記の方法で結晶成長すると、主面である(100)面上に結晶成長した部分よりも{111}A面上に結晶成長した部分の方がN組成が大きくなる。A面上の量子井戸31はN組成が $y=0.034$ と大きく、MQWの禁制帯幅は $0.80\text{ eV}$ (波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 相当)となっていた。一方で傾斜されていない(100)面上に形成されている量子井戸ではN組成が小さく $y=0.029$ であり、禁制帯幅は $0.89\text{ eV}$ (波長 $1.4\text{ }\mu\text{m}$ 相当)であった。

【0091】なお、組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じるが、GaInNAs層は臨界膜厚以下であることから結晶欠陥が誘発されることはない。A面上のGaInNAs層は基板にほぼ格子整合しており、(100)面上のGaInNAs層は $0.1\%$ 程度の圧縮歪を受けている。領域Aにおけるメサの上の量子井戸を波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ でレーザ発振する半導体レーザ素子の活性層として利用し、領域Bにおける平坦部上の量子井戸を光導波路素子のコア層とすると、半導体レーザから発せられる光は光導波路部で吸収を受けることなく伝搬することができる。

【0092】最後の工程として、実施形態1において図1(c)を参照しながら説明した工程と同様に、領域Aと領域Bとを分離溝で分離して、半導体レーザの一方のファブリペローミラーを作製する。横モードの閉じ込めはリッジ構造や埋め込みヘテロ構造などを採用することができる。領域Aの半導体レーザ部分に、p型/n型それぞれの電極を蒸着により形成して、半導体光集積素子を完成した。

【0093】この様にして作製した集積素子の半導体レーザ部分に、上下の電極を通して電流を流すと、閾値電流 $13\text{ mA}$ 、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ でレーザ発振した。従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、同様の構造の単体の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。A方向斜面上に半導体レーザの活性層を、平坦部上に導波路のコア層を形成した結果、導波路は半導体レーザから発

せられる光に対して透明になり、発せられたレーザ光は余分な光吸収や散乱を受けることなく導波路領域を伝搬し、導波路部の半導体レーザが無い側の端面から効率良くレーザ光を取り出すことができた。発光素子の発光層と光導波路部の光ガイド層とが連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、光の過剰損失、散乱は非常に小さかった。

【0094】本実施形態においても、実施形態1で変形例1, 2として示したものに相当する変形が可能であることは言うまでもない。

(実施の形態3) 本発明の実施形態3として、GaNAsを井戸層とするMQWを活性層に有する半導体レーザ素子と光導波路素子とを集積する方法について図9を参照しながら示す。実施形態1, 2との最も大きく異なるのは、基板に加工を施した際に側面に現われる斜面がB面である点である。ここでB面とは、{100}面から{111}B面方向へ $0\sim 55^\circ$ の範囲で傾斜した結晶面を示す。

【0095】以下に、製造手順を追いながら素子構造についても詳しく説明する。

【0096】まず、電流狭窄層12であるp型GaAs層を厚さ $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 結晶成長された、(100)面を表面に有する低抵抗n型GaAs基板11に、図9(a)に示すように領域Aには幅の広い平坦な底面をもつ溝部22を領域Bには幅の狭い平坦な底面をもつ溝部21をエッチング加工することにより設ける。図9(a)において、 $W_A$ は $20\text{ }\mu\text{m}$ 、 $W_B$ は $3\text{ }\mu\text{m}$ とし、エッチング深さを $0.7\text{ }\mu\text{m}$ とした。領域Aが半導体レーザ部、領域Bが光導波路部となる。溝21, 22の長て方向における側面には、{111}B面から成る斜面が露出している。

【0097】次に、図9(a)のように加工された基板の上に、導波路構造を構成する各層を積層する。半導体レーザ部となる幅の広い溝22の上に形成された層構造の断面を図9(b)に、光導波路部となる幅の狭い溝21の上に形成された層構造の断面を図9(c)に示す。積層される各層の材料、層厚(平坦部への成長層で計測)は次の通りである。

【0098】

- 下クラッド層13 : n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, 層厚 $0.2\text{ }\mu\text{m}$
- 活性層14 : 単一量子井戸
- 井戸層14a : ノンドープGa<sub>1-y</sub>NyAs<sub>1-y</sub>, 層厚 $8\text{ nm}$
- 障壁層14b : ノンドープGa<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>As, 層厚 $15\text{ nm}$
- 上クラッド層15 : p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, 層厚 $1\text{ }\mu\text{m}$
- コンタクト層16 : p+型GaAs, 層厚 $0.5\text{ }\mu\text{m}$

この時の結晶成長には、Ga, Al, In, As源としてそれぞれトリメチルガリウム(TMGa), トリメチ

ルアルミニウム(TMAI), トリメチルインジウム(TMIIn), アルシン(AsH<sub>3</sub>)を、N原料として



モノメチルヒドラジン (MMeHy) を用いたMO-CVD法を使用し、成長温度を600℃とした。GaInNAs層の結晶成長は、V族原料を交互に供給することによって行った。

【0099】図9(a)のように加工されたGaAs(100)基板の最表面には、主面である(100)面の他に、溝部の長て方向の側面には{111}B面から成る斜面が露出している。この基板の上にV族元素としてAsとNを含む材料を結晶成長すると、実施形態1で説明したものと同一作用により、主面である(100)面上に結晶成長した部分よりも{111}B面上に結晶成長した部分の方がN原子と置き換わるAs原子の割合が少なく、わずかにN組成が小さくなる。B面上の量子井戸32はN組成が $y=0.02$ と小さく、MQWの禁制帯幅は1.13eV(波長1.1μm相当)となっていた。

【0100】一方で傾斜されていない(100)面上に形成されている量子井戸33ではN組成が大きく $y=0.03$ であり、禁制帯幅は0.95eV(波長1.31μm相当)であった。なお、組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じるが、GaInNAs層は臨界膜厚以下であることから結晶欠陥が誘発されることはない。B面上のGaInAs層は基板に対して約0.4%程度の引っ張り歪を、(100)面上のGaInAs層は0.6%程度の引っ張り歪を受けている。

【0101】障壁層のGaInAsは0.35%程度の圧縮歪を受けており、歪補償量子井戸が構成されている。領域Aにおける溝部の平坦底部の上の量子井戸を波長1.3μmでレーザ発振する半導体レーザ素子の活性層として利用し、領域Bにおける斜面上の量子井戸32を光導波路素子のコア層とすると、半導体レーザから発せられる光は光導波路部で吸収を受けることなく伝搬することができる。

【0102】最後の工程として、実施形態1において図1(c)を参照しながら説明した工程と同様に、領域Aと領域Bとを分離溝で分離して、半導体レーザの一方のファブリペローミラーを作製する。横モードの閉じ込めはリッジ構造や埋め込みヘテロ構造などを採用することができる。領域Aの半導体レーザ部分に、p型/n型それぞれの電極を蒸着により形成して、半導体光集積素子を完成した。

【0103】この様にして作製した集積素子の半導体レーザ部分に、上下の電極を通して電流を流すと、閾値電流10mA、波長1.3μmでレーザ発振した。従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、同様の構造の単体の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。(10

0) 面上に半導体レーザの活性層を、B面上に導波路のコア層を形成した結果、導波路は半導体レーザから発せられる光に対して透明になり、発せられたレーザ光は余分な光吸収や散乱を受けることなく導波路領域を伝搬し、導波路部の半導体レーザが無い側の端面から効率良くレーザ光を取り出すことができた。発光素子の発光層と光導波路部の光ガイド層とが連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、光の過剰損失、散乱は非常に小さかった。

【0104】本実施形態においても、実施形態1で変形例1, 2として示したものに相当する変形が可能であることは言うまでもない。変形例2を実現するには、レーザの端面付近をB面上に、中央付近を(100)面上に構成すればよいことは容易にわかる。

(実施の形態4) 本発明の実施形態4として、GaInNAsをMQW活性層の井戸層、および吸収性回折格子に有する利得結合分布帰還型半導体レーザ(GC-DFB-LD: Gain-Coupled Distributed Feedback Laser Diode)素子と変調器とを集積する方法について図10、図11を参照しながら示す。DFB-LDそのものも、半導体レーザと回折格子とが集積化された一種の半導体光集積素子と言える。

【0105】以下に、製造手順を追いながら素子構造についても詳しく説明する。

【0106】まず、(100)面を表面に有する低抵抗n型GaAs基板11の表面に、通常ホトリソグラフィによるパターンニングとウエットエッチングを用いて、図10(a)に示すように領域Aには幅の広い平坦な頂部をもつストライプ状のメサ24を、領域Bには幅の狭いストライプ状のメサ23をエッチング加工することにより設ける。図10(a)において、 $W_A$ は20μm、 $W_B$ は6μmとし、メサの高さを1.4μmとした。領域Aが半導体レーザ部、領域Bが変調器となる。メサ23, 24の長て方向における側面には、{311}B面から成る斜面が露出していた。

【0107】次に、図10(a)のように加工された基板の上に、導波路構造を構成する各層を積層する。半導体レーザ部となる幅の広い平坦頂部をもつストライプ状のメサ24の上に形成された層構造の断面を図10

(b)に、光導波路部となる幅の狭いストライプ状のメサ23の上に形成された層構造の断面を図10(c)に示す。積層される各層の材料、層厚(平坦部への成長層で計測)は次の通りである。

【0108】

下クラッド層13 : n型In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P, 層厚0.2μm

活性層14 : 三重量子井戸

井戸層14a : ノンドープGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>NyAs<sub>1-y</sub>, 層厚8nm



障壁層14b : ノンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As, 層厚10nm

ガイド層14c : ノンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As, 層厚30nm

光導波層19 : p型In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P, 層厚0.2μm

この時の結晶成長には、Ga, Al, In, As源としてトリメチルガリウム(TMGa), トリメチルアルミニウム(TMAI), トリメチルインジウム(TMI<sub>n</sub>), アルシン(AsH<sub>3</sub>)を、N原料として500℃でクラッキングされたアンモニアガス(NH<sub>3</sub>)を用いた化学ビームエピタキシャル成長(CBE)法を使用し、成長温度を500℃とした。活性層のGaInNAs層の結晶成長は、V族原料を交互に供給することによって行った。

【0109】図10(a)のように加工されたGaAs(100)基板の最表面には、主面である(100)面の他に、溝部の長て方向の側面には{311}B面から成る斜面が露出している。この基板の上にV族元素としてAsとNとを含む材料を結晶成長すると、実施形態1で説明したものと同一作用により、主面である(100)面上に結晶成長した部分よりも{311}B面上に結晶成長した部分の方がN原子と置き換わるAs原子の割合が少なく、わずかにN組成が小さくなる。B面上の量子井戸32はN組成が $y=0.009$ と小さく、MQWの禁制帯幅は1.08eV(波長1.15μm相当)となっていた。

【0110】一方で傾斜されていない(100)面上に形成されている量子井戸33ではN組成が大きく $y=0.018$ であり、禁制帯幅は0.95eV(波長1.31μm相当)であった。なお、組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じるが、GaInNAs層は臨界膜厚以下であることから結晶欠陥が誘発されることはない。(100)面上のGaInNAs層は1.0%程度の圧縮歪を受けており、B面上のGaInNAs層は1.3%程度の圧縮歪を受けている。

【0111】次に、図11(a)に示すように、基板に設けたストライプ状のメサの長て方向に直交するように、2光束干渉露光とウェットエッチングによって表面にピッチ0.2μm、深さ0.1μmの頂部に平坦部をもつV溝状の回折格子20を印刷した。この上に、実施形態1と同様の方法によりV族原料を交互供給する方法でGaInNAs層34を0.03μm結晶成長させた。レーザの長て方向における回折格子部の断面の主要部を図12(a)に示す。

【0112】エッチングによって作製された回折格子の溝の斜面には{111}A面が現われており、平坦な頂部には(100)面が現われている。斜面上にはN組成が大きく禁制帯幅の小さなGaInNAs混晶35が、頂部にはN組成が小さく禁制帯幅の大きなGaInNAs層36が成長した。斜面の禁制帯幅の小さなGaInNAs層35が活性層から発せられる波長1.3μmの光を吸収するように、かつ、頂部の禁制帯幅の大きなG

aInNAs層36が波長1.3μmの光に対して透明となるように混晶比の分布を制御して結晶成長を行うと、レーザの共振器方向で吸収が周期的に配置された回折格子を得ることができる。

【0113】回折格子の上に上クラッド層15であるp型In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pを0.8μm、コンタクト層16であるp型GaAsを0.5μm結晶成長し、最後の工程として領域Aと領域Bとを分離する幅2μmの分離溝25の作製を行う。レーザ素子から発せられたレーザ発振光がこの分離溝25で反射してレーザ素子に戻ることがないように、分離溝25はレーザの共振器方向に対して60~80°程度傾くようにした。領域A、Bそれぞれに、p型/n型それぞれの電極17、18を蒸着により形成して、半導体光集積素子を完成した。

【0114】この様にして作製した集積素子の半導体レーザ部に、上下の電極17、18を通して電流を流すと、閾値電流10mA、波長1.3μmでレーザ発振した。周期的な吸収回折格子を備えていることから、レーザ光は安定した単一波長での発振であった。従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、同様の構造の単体の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。また、領域Bの電極に電界を印加することにより、透過するDFBレーザ光を変調することができた。発光素子の発光層と変調器の光ガイド部とが連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、素子間の境界における光の過剰損失、散乱は非常に小さかった。

【0115】なお、本実施形態においては回折格子の溝の側面にA面が現われるような方向で回折格子を印刷したが、B面が現われる方向の場合には本実施形態の場合とは逆に、平坦部の上のGaInNAs層で吸収、斜面部の上のGaInNAs層が透明となることは言うまでもない。また、回折格子の溝の形状は、図12(b)に示すように底面に平坦部をもつものであってもよい。また、図12(c)のように回折格子の頂部と底部の両方に(100)面からなる平坦な領域をもたせた場合、回折格子の本来のピッチの1/2のピッチで吸収が変調された回折格子を得ることができる。

【0116】なお、回折格子が印刷された基板または下クラッド層の上にGaInNAsからなる層を含む活性層を結晶成長するとその周期に応じて活性層の禁制帯幅、利得が周期変化することになり、利得性回折格子型GC-DFB-LDが得られた。また、直線状の凹凸を数百オングストローム程度の間隔とすると、その凹凸の上に成長されるGaInNAsは量子細線を形成した。

【0117】本実施形態においても、実施形態1で変形

例1, 2として示したものに相当する変形が可能であることは言うまでもない。また、領域Aだけを単体の半導体レーザ素子として取り出すことも可能であることは言うまでもない。

(実施の形態5) 本発明の実施形態5として、GaInNAsを利得性回折格子に有する利得結合分布帰還型半導体レーザ(GC-DFB-LD)の作製方法について図14を参照しながら示す。

【0118】本実施形態では、結晶成長にGa, Al, In, As源としてトリメチルガリウム(TMGa), トリメチルアルミニウム(TMAI), トリメチルイン

ジウム(TMIn), アルシン(AsH<sub>3</sub>)を、N原料

としてジメチルヒドラジン(DMeHy)を用いた有機金属気相成長(MOCVD)法を使用した。また、成長温度を550℃とした。

【0119】以下に、製造手順を追いながら素子構造についても詳しく説明する。

【0120】まず、低抵抗n型GaAs(100)基板11の上に、1回目の結晶成長により次に示す各層を積層した。

【0121】

下クラッド層13 : n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, 層厚1.0μm

下ガイド層14c : ノンドープGaAs, 層厚0.2μm

次に、二光束干渉露光とウエットエッチングによって、ガイド層14cの表面にピッチ0.233μm、深さ0.1μmの、頂部に平坦部をもつV溝状の回折格子20を印刷した(図14(a))。このV溝内部における斜面には、{111} A面が露出するように回折格子の

印刷方向を選んだ。なお、回折格子のピッチは、ブラッグ波長が1.55μmとなるように設定した。

【0122】この回折格子20の上に、図14(b)に示すように次の各層を積層した。

【0123】

緩衝層27 : ノンドープGaAs, 層厚0.02μm

井戸層14a : ノンドープGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>NyAs<sub>1-y</sub>, 層厚8nm

上ガイド層14c' : ノンドープGaAs, 層厚0.15μm(平坦部で計

測)

上クラッド層15 : p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, 層厚1.0μm

キャップ層28 : p型GaAs, 層厚0.2μm

緩衝層27と井戸層14aは、回折格子20の凹凸形状をほぼ保つように成長していた。それらよりも層厚の厚い上ガイド層14c'は、上クラッド層15との界面では凹凸形状をほぼ平坦化していた。

【0124】この積層構造を、回折格子20に直交するように基板11まで達するような幅2μmのメサ形状にエッチングし、エッチングした部分をp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, n型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asで埋め込んで電流狭窄層12a, b, cを形成した。最後にp+型コンタクト層16を0.5μm成長し、p型/n型それぞれの電極17, 18を蒸着により形成し、劈開により共振器長300μmの半導体レーザ素子を完成した。(図14(c))

作製した半導体レーザ素子に、上下の電極17, 18を通して電流を流すと、閾値電流10mAにて、波長1.55μmでレーザ発振した。周期的な利得性回折格子によって発せられるレーザ光は、安定した単一波長での発振であり、GC-DFB-LDとして良好な単一縦モード特性を示した。また、従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、従来の方法で作製した同様の構造の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。

【0125】以下、本実施形態における半導体レーザの特徴と動作原理について説明する。

【0126】レーザ素子の長て方向の断面の主要部を図15に示す。エッチングによって作製された回折格子の

溝の斜面には{111} A面が現われており、平坦な頂部には(100)面が現われている。斜面上に成長したGaInNAs混晶35には窒素が多く取り込まれており、N組成はy=0.035、波長1.55μm相当の量子井戸を形成していた。一方、平坦な頂部に成長したGaInNAs混晶36には窒素が少なく、N組成はy=0.024、波長1.30μm相当の量子井戸を形成していた。つまり、波長1.55μmの利得領域と波長1.30μmの利得領域とが交互に周期的に存在する。なお、GaInNAs層の窒素組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じ、波長1.55μmの利得領域においては基板と格子整合するのに対し、波長1.30μmの利得領域においては+0.2%程度の引っ張り歪みを含む。格子定数に分布が生じるものの、わずかな窒素組成の分布で大きな禁制帯幅分布を生じるGaInNAs量子井戸では、大きな禁制帯幅分布を生じる構成としても結晶欠陥が誘発されることはない。

【0127】活性層には波長1.55μmの利得領域と波長1.30μmの利得領域とが存在するが、活性層に注入されたキャリアは、より禁制帯幅の狭い波長1.55μmの領域に集中する。また、波長1.55μmの領域の方が屈折率がより高いので、共振器内の定在波の腹の位置に一致させるのが望ましく、ブラッグ波長が1.55μmとなるように回折格子のピッチが選ばれている。回折格子により分布帰還を受ける波長1.55μmの誘導放光は、活性層に周期的に存在する波長1.5

5  $\mu\text{m}$ の利得領域によって増幅され、レーザ発振に至る。

【0128】なお、回折格子の上に形成するGaInNAs利得領域の幅(図15にwとして示す)を数百Å以下にまで細くすると、GaInNAs活性層を量子細線として機能させることも可能であった。

【0129】なお、本実施形態においては回折格子の溝の側面にA面が現われるような方向で回折格子を印刷したが、{n11}B面が現われる方向の場合には本実施形態の場合とは逆に、平坦部の上のGaInNAs層の禁制帯幅が斜面部の上のGaInNAs層の禁制帯幅よりも狭くなる構成で同様のGCDFBLDが実現されることは言うまでもない。また、利得性回折格子の溝の形状は、図12(b)に示すように底面に平坦部をもつものであってもよい点は、前述の実施形態の場合と同様である。また、図12(c)のように回折格子の頂部と底部の両方に(100)面からなる平坦な領域をもたせた場合、回折格子の本来のピッチの1/2のピッチで吸収が変調された回折格子を得ることができる点も同様

下クラッド層13 : n型(A10.7Ga0.3)0.52In0.48P, 層厚1  $\mu\text{m}$   
 活性層14 : 三重量子井戸  
 井戸層14a : ノンドープGa0.48In0.52P1-yNy,  
 層厚8 nm  
 障壁層14b : ノンドープ(A10.4Ga0.6)0.52In0.48P,  
 層厚10 nm  
 ガイド層14c : ノンドープ(A10.4Ga0.6)0.52In0.48P,  
 層厚30 nm  
 上クラッド層15 : p型(A10.7Ga0.3)0.52In0.48P, 層厚1  $\mu\text{m}$   
 コンタクト層16 : p+型GaAs, 層厚0.5  $\mu\text{m}$

また、用いた基板、結晶成長の方法も同様である。本実施形態においても、図1及び図2を参照しながら、以下に詳しく説明する。

【0133】図1(a)のように加工されたGaAs(100)基板の最表面には、主面である(100)面の他に、溝部の長て方向の側面には{311}A面が露出している。この基板の上にV族元素としてPとNとを含む材料を結晶成長すると、主面である(100)面上に結晶成長した部分よりも{311}A面上に結晶成長した部分の方がわずかにN組成が大きくなる。図2において量子井戸31における井戸層であるGaInPN結晶はA面上に作製されていることからN組成が $y=0.02$ と大きく、MQWの禁制帯幅は1.53 eV(波長810 nm相当)となっていた。一方で量子井戸33においては(100)面上に形成されていることからN組成が小さく $y=0.013$ であり、禁制帯幅は1.64 eV(755 nm相当)であった。なお、組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じるが、GaInPN層は臨界膜厚以下であることから結晶欠陥が誘発されることはない。図2(a)における量子井戸31を半導体レーザの活性層として利用した場合、図2(b)において

である。他にも、回折格子の形状、ピッチなど、種々の変形が可能である。

【0130】なお、本実施形態では単体のレーザ素子についてのみ説明したが、実施形態1~4に示したものと類似の構成にて光導波路や受光素子を集積することが可能である。

(実施の形態6) 本発明の実施形態6として、GaInPNを井戸層とするMQWを活性層に有する半導体レーザ素子と光導波路素子とを集積する方法について示す。実施形態1~5においては、MQW活性層あるいはコア層における井戸層が、V族元素としてAsとNを含む化合物半導体であったのに対し、本実施形態ではV族元素としてP(燐)とNを含む化合物半導体を用いている点で異なる。

【0131】本実施形態で作製した素子は各層の材料及び層厚を下記のものに置き換えた点を除いて、図1及び図2を用いて説明した実施形態1に示したものと同一構成とした。

【0132】

は量子井戸33が光導波路のコア層となる為に半導体レーザから発せられる光は光導波路部で吸収を受けることなく、伝搬することができる。

【0134】この様にして作製した集積素子の半導体レーザ部分に、上下の電極17, 18を通して電流を流すと、電流狭窄層12によって狭窄された電流は活性層のうちのV字型部分に注入され、閾値電流10 mA、波長810 nm帯でレーザ発振した。従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、同様の構造の単体の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。このように、(100)面上に導波路のコア層を、A方向傾斜面上に半導体レーザの活性層を形成した結果、導波路は半導体レーザから発せられる光に対して透明になり、余分な光吸収や散乱を受けることなく導波路領域を伝搬し、導波路部の半導体レーザが無い側の端面から効率良くレーザ光を取り出すことができた。発光素子の発光層と光導波路部の光ガイド層とが連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、光の過剰損失、散乱は非常に小さかった。

【0135】本実施形態においても、実施形態1で変形

例1, 2として示したものに相当する変形が可能であることは言うまでもない。

〔実施の形態7〕本発明の実施形態7として、GaAsSbNを井戸層とするMQWを活性層に有する半導体レーザ素子と光導波路素子とを集積する方法について示す。実施形態1～5, 6においては、活性層あるいはコア層における井戸層が、V族元素としてNの他にAsあるいはPを含む化合物半導体であったのに対し、本実施形態ではV族元素として更にSbを含む化合物半導体を用いている点で異なる。

【0136】本実施形態で作製した素子は、井戸層14aの材料をノンドープGaAsSbNに置き換えた点を除いて、図1及び図2を用いて説明した実施形態1に示したものと同一構成とした。また、用いた基板、結晶成長の方法も同様である。井戸層であるGaAsSbNの組成は、 $\text{GaAs}_{0.9(1-y)}\text{Sb}_{0.1(1-y)}\text{N}_y$ とした。本実施形態においても、図1及び図2を参照しながら、以下に詳しく説明する。

【0137】図1(a)のように加工されたGaAs(100)基板の最表面には、主面である(100)面の他に、溝部の長て方向の側面には{311}A面が露出している。この基板の上にV族元素としてAs, SbとNを含む材料を結晶成長すると、主面である(100)面上に結晶成長した部分よりも{311}A面上に結晶成長した部分の方がわずかにN組成が大きくなる。図2において量子井戸31における井戸層であるGaAsSbN結晶はA面上に作製されていることからN組成が $y=0.03$ と大きく、MQWの禁制帯幅は波長 $1.55\mu\text{m}$ 相当となっていた。一方で量子井戸33においては(100)面上に形成されていることからN組成が小さく $y=0.019$ であり、禁制帯幅は $1.31\mu\text{m}$ 相当であった。なお、組成の分布に対応して格子定数にも分布が生じるが、GaAsSbN層にかかる歪はN組成が $y=0.03$ の領域において+0.2%程度、N組成が $y=0.019$ の領域において+0.4%程度に過ぎず、いずれも臨界膜厚以下であることから結晶欠陥が誘発されることはない。図2(a)における量子井戸31を波長 $1.55\mu\text{m}$ でレーザ発振する半導体レーザの活性層として利用した場合、図2(b)においては量子井戸33が光導波路のコア層となるために半導体レーザから発せられる光は光導波路部で吸収を受けることなく伝搬することができる。

【0138】この様にして作製した集積素子の半導体レーザ部分に、上下の電極17, 18を通して電流を流すと、電流狭窄層12によって狭窄された電流は活性層のうちのV字型部分に注入され、閾値電流 $10\text{mA}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ でレーザ発振した。従来のような高温での長時間の熱処理を必要としない為、同様の構造の単体の半導体レーザ素子と比べて、閾値電流の上昇などの特性に劣化はみられなかった。このように、(100)

面上に導波路のコア層を、A方向傾斜面上に半導体レーザの活性層を形成した結果、導波路は半導体レーザから発せられる光に対して透明になり、余分な光吸収や散乱を受けることなく導波路領域を伝搬し、導波路部の半導体レーザが無い側の端面から効率良くレーザ光を取り出すことができた。発光素子の発光層と光導波路部の光ガイド層とが連続した同一層として同時に結晶成長されているので、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、光の過剰損失、散乱は非常に小さかった。

【0139】本実施形態においても、実施形態1で変形例1, 2として示したものに相当する変形が可能であることは言うまでもない。

【0140】実施形態6, 7で示した結晶成長及び素子構造の上での特徴は、実施形態1において図4を参照しながら説明したV族元素としてAsとNを含む化合物半導体材料の場合と同様に、V族元素としてPとNを含む化合物半導体材料の場合、V族元素としてAs, SbとNを含む化合物半導体を井戸層に用いた場合にも同様であることを示している。また、実施形態6, 7では半導体レーザと光導波路素子とを集積する場合についてのみ示したが、PとNを含む化合物あるいはAsとSbとNとを含む化合物によって、他の実施形態で示したものと同様の端面窓構造レーザ、吸収性回折格子、利得性回折格子に適用することが可能であることは言うまでもない。

【0141】なお、これまでに示した実施形態1～4, 6, 7では、(100)面上に構成された導波路構造と、A面上またはB面上に構成された導波路構造とが接続されたものについて実例を示して説明した。ところで、発光素子、受光素子、導波路素子が全てA面上に構成され、傾斜角度の大きいA面上に発光素子または受光素子を、傾斜角度の小さいA面上に導波路素子を配置しても同様の効果が得られることは図4を参照すれば容易にわかる。(100)面は、傾斜角度 $0^\circ$ のA面とみなすことができるわけである。

【0142】また同様に、発光素子、受光素子、導波路素子が全てB面上に構成され、傾斜角度の小さいB面上に発光素子または受光素子を、傾斜角度の大きいB面上に導波路素子を配置しても同様の効果が得られることは容易にわかる。(100)面は、傾斜角度 $0^\circ$ のB面とみなすことができるわけである。これらのことは、端面窓構造のレーザ、GCDFB-LDの場合についても同様のことが言える。

【0143】なお、本願では、(hkl)面及びそれと結晶学的に等価な面を{hkl}面と表記している。各実施形態において、結晶面として(100)面等と具体的に示した面方位については、実施形態に記述した特定の結晶面に限定されるものではなく、結晶学的に等価な任意の{100}面等において同様の効果があることは言うまでもない。

【0144】なお、実施形態1～4, 6, 7において、光導波路素子として単純な一本の受動導波路の構造だけを示したが、分岐、結合器、変調、フィルター、スポットサイズ変換などの機能を有する導波路でも構成することが可能である。また、半導体レーザにスポットサイズ変換機能をもたせた導波路を集積したものを単体で取り出すことも可能である。このように、一つの半導体基板の上に、複数の発光素子と、複数の導波路素子と、複数の受光素子とを本発明の方法で集積化することが容易に可能となる。また、それらを駆動、制御するための電子回路も集積化することも可能である。

【0145】なお、基板に設けた凹凸形状、MQW構造、発振波長、導波路構造、結晶成長方法について、各実施形態毎に特定の組み合わせについて説明したが、本発明は、それらの特定の組み合わせに限定されるものではない。特にMQWの井戸層について、実施形態1～5ではV族元素としてAsとNとを有する化合物、実施形態6ではPとNとを有する化合物、実施形態7ではAsとSbとNとを有する化合物について説明したが、Nと他のV族元素が両方共に含まれている化合物であれば、上記の組み合わせ及び特定の組成に限定されるものではない。また、基板については上記の実施形態では全てGaAs基板の場合を具体的に示したが、GaPやGaAsPやGaInAsなどの他のIII-V族基板、ZnSeやZnSなどのII-VI族基板、SiやGeやSiCなどのIV族基板、サファイアなどの絶縁物基板や酸化物基板などを用いることも可能である。特にSi基板やGaP基板においては、それらに概ね格子整合するGaNA<sub>s</sub>やAlGaAsNを活性層に用いることが可能である。レーザ、導波路の横モードを安定かさせるガイド構造に関しても、適宜公知の構造を適用することもできる。

【0146】また、これまでの記述の中で「上」と記したものは基板から離れる方向にあることを示しており、「下」と記したものは基板側の方向にあることを示している。また、基板の導電型を上記実施形態に示したものと反転させ、全ての導電型を逆にしてもよい。

【0147】本発明の構造を作製する為の結晶成長の方法に対しては、種々の公知技術を適用することが可能である。また、各層のドーパントとなる不純物の種類、ストライプ状の導波路の構造や作製方法、回折格子の構造や作製方法に関しても、様々な公知の技術を用いることが可能である。また、各層の結晶性を良好なものとするために例えば基板と下クラッド層との間等に適宜バッファ層（緩衝層）を用いることも可能である。

【0148】また、レーザ素子の光出射端面の処理方法、コーティング材料とその形成方法に関して上記実施形態では特定のものに関してしか言及していないが、様々な公知の技術を適用してレーザ素子の構成を変形させることは容易に可能である。

【0149】また、半導体レーザ部としてファブリペロ一型の場合とDFB型の場合とを示したが、これらは半導体光集積素子の使用目的により適宜任意のものを適用することができる。さらに、本発明の半導体レーザは上下から電流を注入して端面からレーザ光が出射するもののみならず、面発光レーザ、横注入型のレーザ、光増幅器等にも適宜適用可能である。

【0150】

【発明の効果】請求項1に記述された本発明の半導体光集積素子あるいは半導体レーザ素子の製造方法によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、様々な半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる。

【0151】請求項2に記述された本発明の半導体素子の製造方法によれば、下地の結晶面により異なる窒素混晶比の程度はをより拡大され、請求項1の効果を最も好適に得ることが出来る。

【0152】請求項3に記述された本発明の半導体素子の製造方法によれば、請求項1から2の作用・効果をより好適に実現できる。

【0153】請求項4に記述された本発明の半導体素子の製造方法によれば、請求項1から3の作用・効果をより好適に実現できる。

【0154】請求項5に記述された本発明の半導体素子の製造方法によれば、請求項1から4の作用・効果をより好適に実現できる。

【0155】請求項6に記述された本発明の半導体光集積素子の製造方法によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、発光素子、受光素子、光導波路素子が集積された半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる。

【0156】請求項7, 8に記述された本発明の半導体光集積素子の製造方法によれば、請求項6の作用・効果をより好適に実現でき、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、様々な半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる。

【0157】請求項9, 10に記述された本発明の半導体光集積素子の製造方法によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、様々な半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる効果が得られる。さらに、発光素子、受光素子、光導波路部のコア層が連続しており、各層の位置ずれ又は継ぎ目が全くなく、光の過剰損失の小さな半導体光集積素子を作製できる。

【0158】請求項11に記述された本発明の半導体レーザ素子の製造方法によれば、一回の結晶成長で端面と中央部とで禁制帯幅の異なる領域を作製することがで



き、端面窓構造が集積された半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる効果が得られる。

【0159】請求項12、13に記述された本発明の半導体レーザ素子の製造方法によれば、請求項11の作用・効果をより好適に実現でき、一回の結晶成長で端面と中央部とで禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、端面窓構造が集積された半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる。

【0160】請求項14に記述された本発明の半導体レーザ素子の製造方法によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を周期的に作製することができ、吸収の周期構造を有する半導体光集積素子が高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに得られる。

【0161】請求項15に記述された本発明の半導体レーザ素子の製造方法によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を周期的に作製することができ、利得の周期構造を有する半導体光集積素子が高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに得られる。

【0162】請求項16に記述された本発明の半導体光集積素子の製造方法によれば、発光素子、受光素子、光導波路素子を一括して製造するのに好ましい製造方法が得られる。

【0163】請求項17に記述された本発明の半導体光集積素子によれば、発光素子、受光素子、光導波路を一括して製造するのに好ましい構成となる。

【0164】請求項18、19に記述された本発明の半導体光集積素子によれば、請求項3の作用・効果をより好適に実現でき、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる構造となる。

【0165】請求項20に記述された本発明の半導体レーザ素子によれば、一回の結晶成長で端面と中央部とで禁制帯幅の異なる領域を作製することができ、端面窓構造が集積された半導体光集積素子を高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに同時に作製できる構成が得られる。

【0166】請求項21、22に記述された本発明の半導体レーザ素子によれば、請求項20の作用・効果をより好適に実現できる。

【0167】請求項23に記述された本発明の半導体レーザ素子によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる領域を周期的に作製することができ、吸収の周期構造を有する半導体光集積素子が高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに作製可能な構成が実現される効果がある。

【0168】請求項24に記述された本発明の半導体レーザ素子によれば、一回の結晶成長で禁制帯幅の異なる

領域を周期的に作製することができ、利得の周期構造を有する半導体光集積素子が高温による熱処理や複雑な加工プロセスを伴わずに作製可能な構成が実現される効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1における半導体光集積素子の製造工程を示す斜視図である。

【図2】本発明の実施形態1における半導体光集積素子の長て方向から見た断面図である。(a)は、図1(b)におけるa-a'間の断面を示す。(b)は、図1(b)におけるb-b'間の断面を示す。(c)は(a)、(b)においてXで示された部分を拡大して示す。

【図3】本発明の実施形態1におけるGaInNAs層の結晶成長のタイミングチャートを示す図である。

【図4】GaInNAs層のN混晶比の、基板オフ角度依存性を示す図である。

【図5】GaInNAs層の禁制帯幅の、N混晶比及びIn混晶比依存性を示す図である。Aは、In混晶比(x)をx=0.08に固定した時の、GaInNAsの禁制帯幅のN混晶比(y)依存性を示す。Bは、N混晶比(y)をy=0.025に固定した時の、GaInNAsの禁制帯幅のIn混晶比(x)依存性を示す。

【図6】本発明の実施形態1における第一の変形例を示す斜視図である。

【図7】本発明の実施形態1における第二の変形例を示す斜視図である。

【図8】本発明の実施形態2における半導体光集積素子の製造工程を示す図である。(a)は、基板の斜視図である。(b)は、(a)の領域Aに積層する層構造を示す為の、長て方向から見た断面図である。(c)は、(a)の領域Bに積層する層構造を示す為の、長て方向から見た断面図である。

【図9】本発明の実施形態3における半導体光集積素子の製造工程を示す図である。(a)は、基板の斜視図である。(b)は、(a)の領域Aに積層する層構造を示す為の、長て方向から見た断面図である。(c)は、(a)の領域Bに積層する層構造を示す為の、長て方向から見た断面図である。

【図10】本発明の実施形態4における半導体光集積素子の製造工程の前半を示す図である。(a)は、基板の斜視図である。(b)は、(a)の領域Aに積層する層構造を示す為の、長て方向から見た断面図である。

(c)は、(a)の領域Bに積層する層構造を示す為の、長て方向から見た断面図である。

【図11】本発明の実施形態4における半導体光集積素子の製造工程の後半を示す図である。

【図12】本発明の実施形態4における半導体光集積素子の、回折格子の構成例を示す図である。

【図13】従来の半導体光集積素子の製造方法及び素子



構造を示す図である。(a)、(b)は製造工程を示す断面図、(c)は素子構造を示す斜視図である。

(a)、(b)は、(c)におけるa-a'間の断面に対応する。

【図14】本発明の実施形態5における半導体光集積素子の製造工程を示す図である。

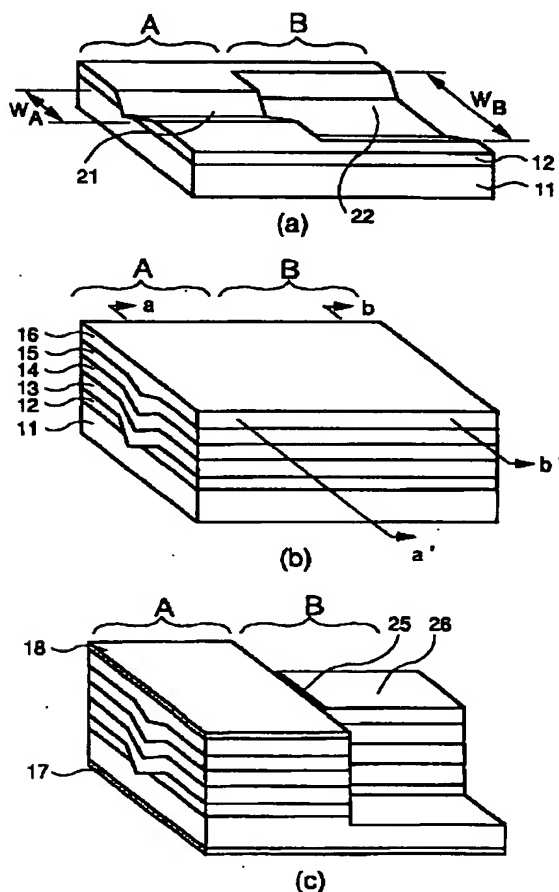
【図15】本発明の実施形態5における半導体光集積素子の主要部の構成を示す図である。

【符号の説明】

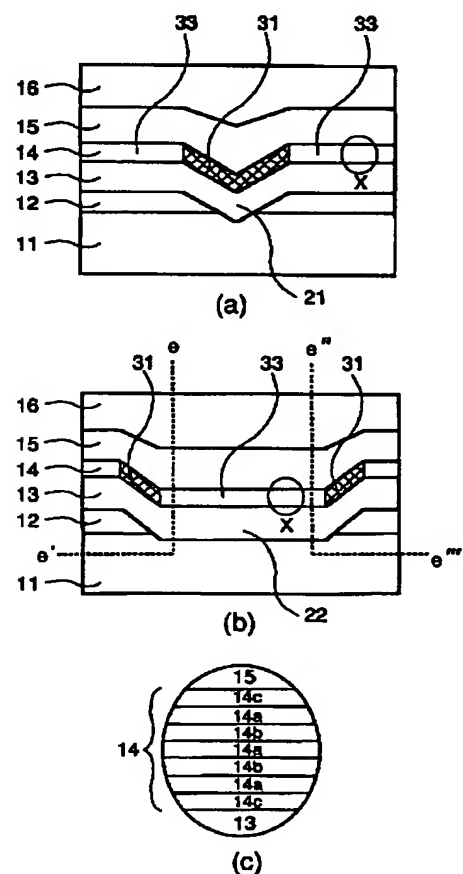
- 11 基板
- 12、12a、12b、12c 電流狭窄層
- 13 下クラッド層
- 14 活性層、コア層
- 14a 井戸層
- 14b 障壁層
- 14c ガイド層、下ガイド層、上ガイド層
- 15 上クラッド層
- 16 コンタクト層
- 17 n型電極
- 18 p型電極
- 19 光導波路

- 20 回折格子
- 21 幅の狭い溝部
- 22 幅の広い溝部
- 23 幅の狭いメサ部
- 24 幅の広いメサ部
- 25 分離溝
- 26 ストライプ状導波路
- 27 緩衝層
- 28 キャップ層
- 31 A面上に作製された量子井戸
- 32 B面上に作製された量子井戸
- 33 (100)面上に作製された量子井戸
- 34 回折格子の上に成長された、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層
- 35 回折格子溝の斜面上に成長された、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層
- 36 回折格子溝の平坦面上に成長された、窒素と窒素以外のV族元素とを共に組成として含む化合物半導体層
- 41 誘電体膜
- 42 MQW無秩序化層
- 43 埋め込み層

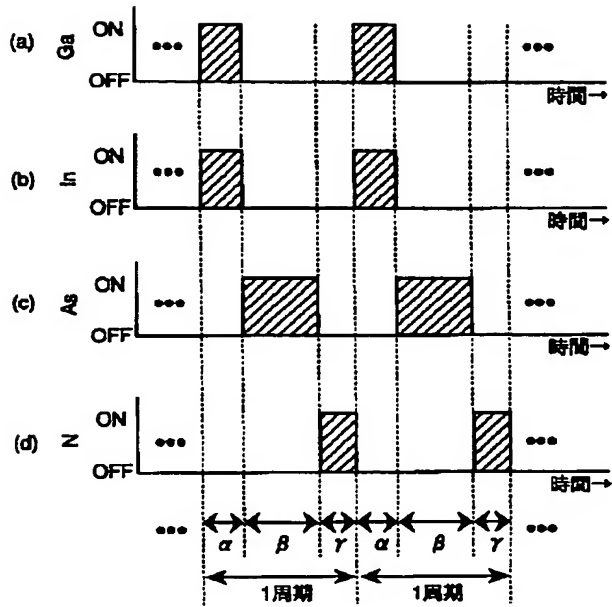
【図1】



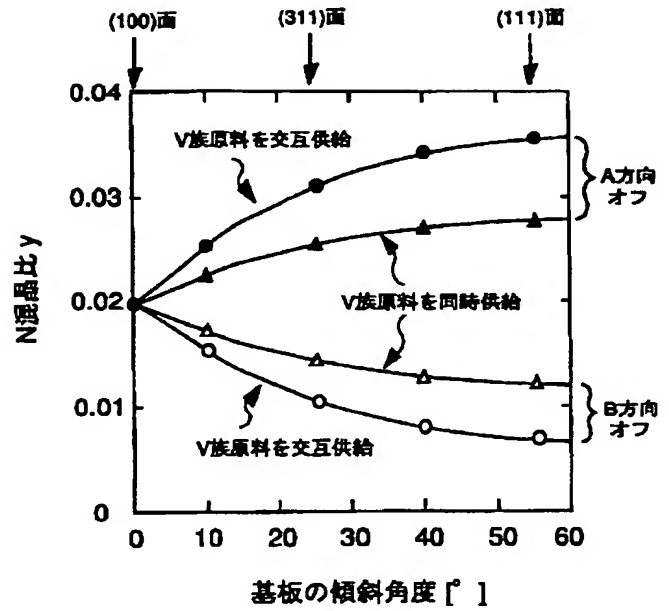
【図2】



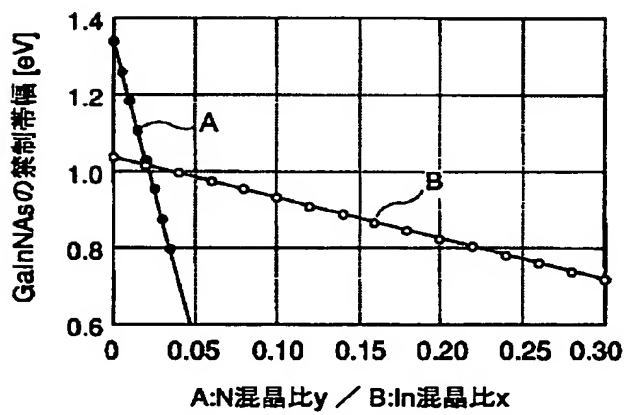
【図3】



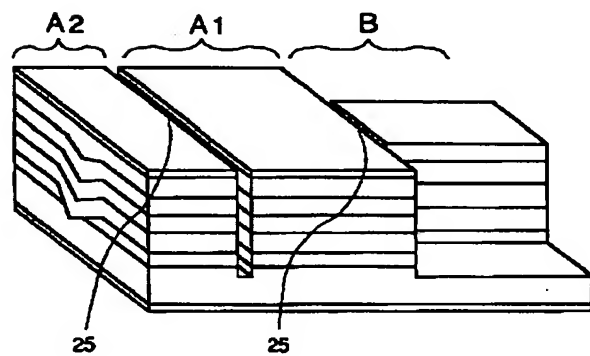
【図4】



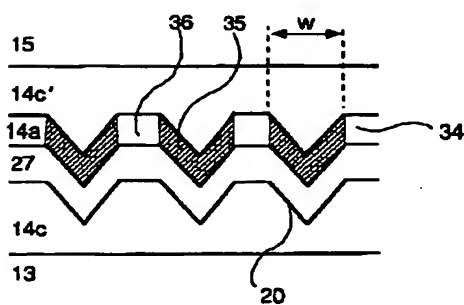
【図5】



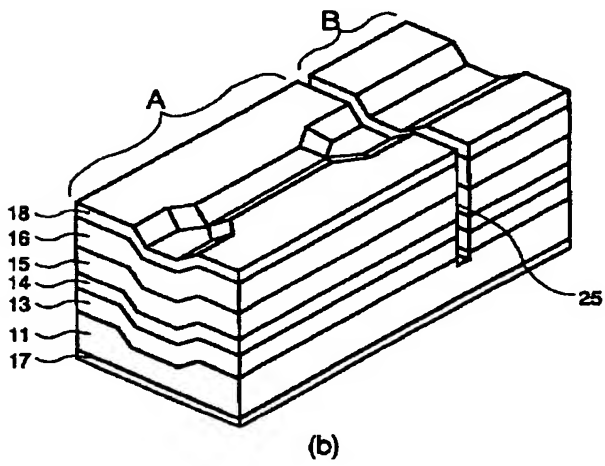
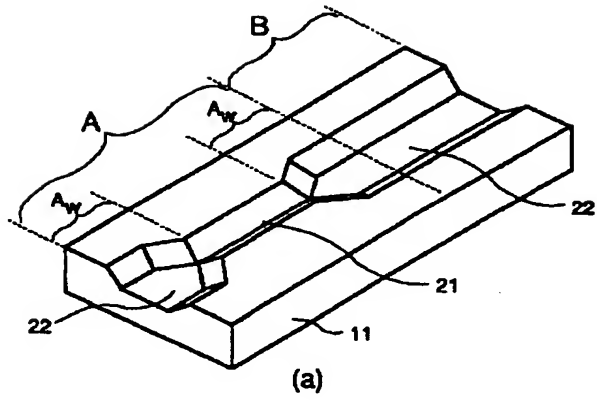
【図6】



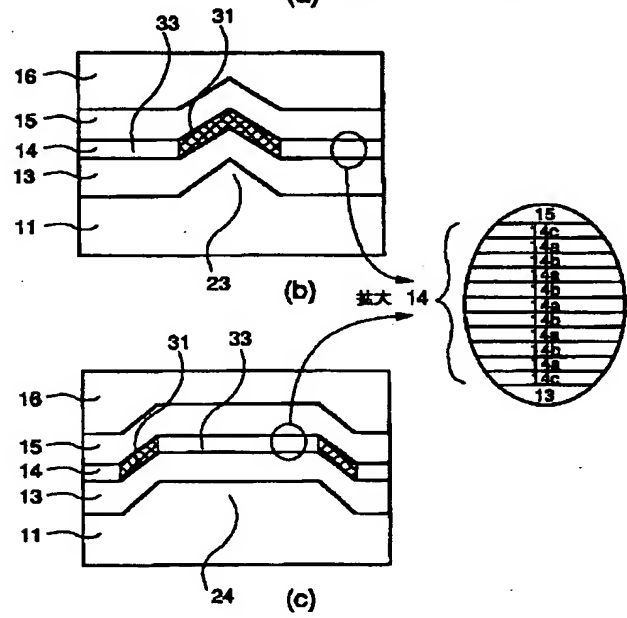
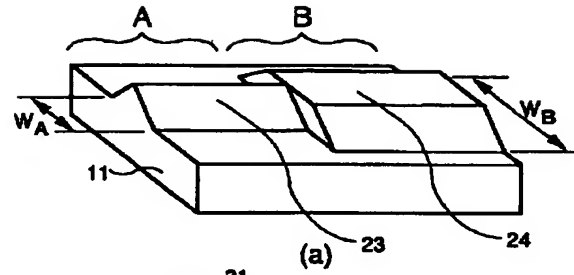
【図15】



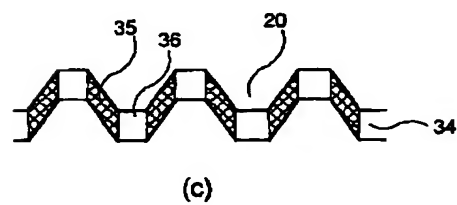
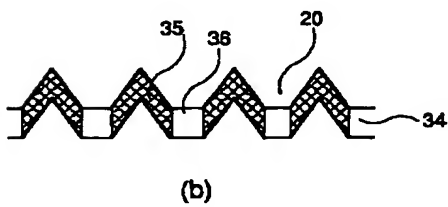
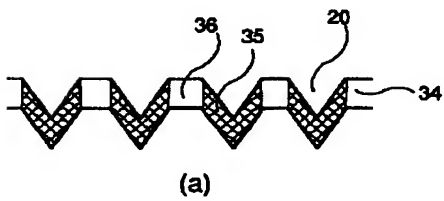
【図7】



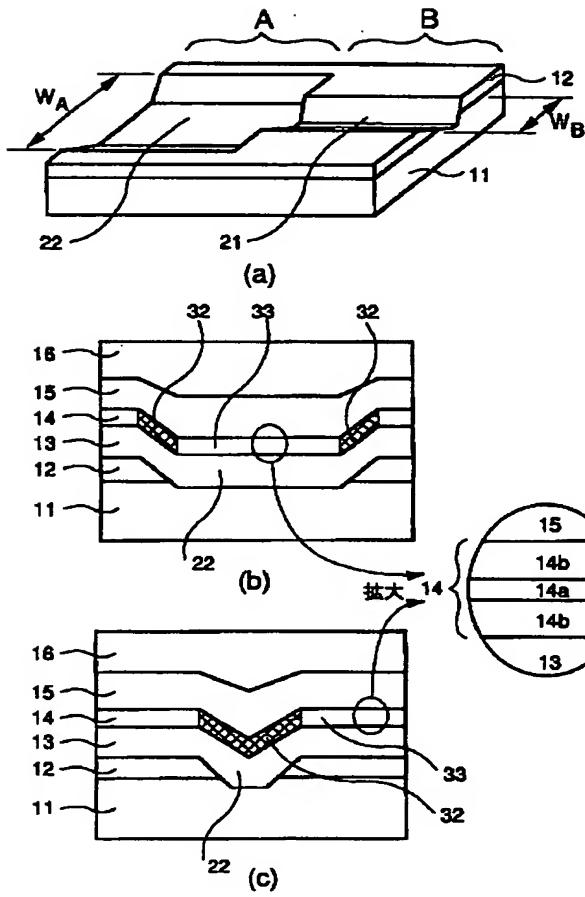
【図8】



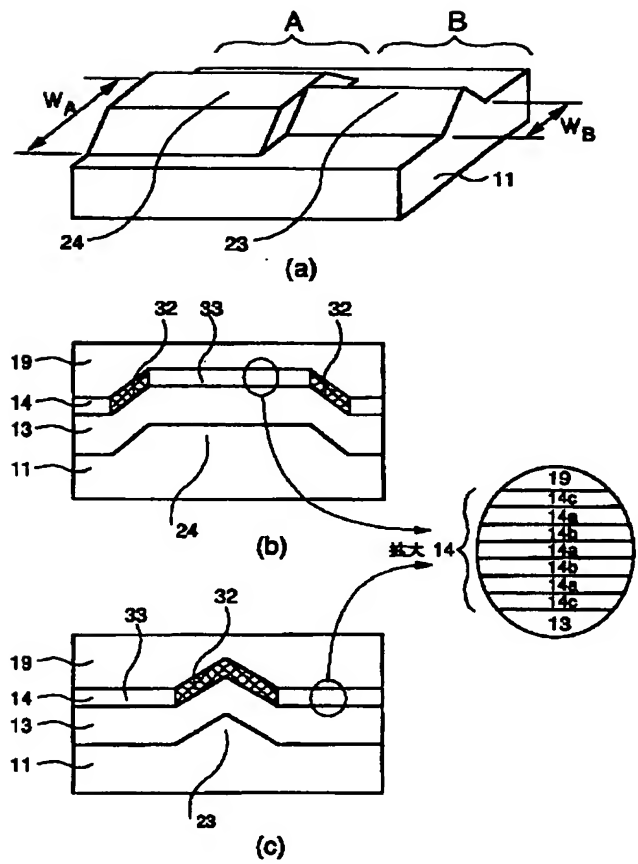
【図12】



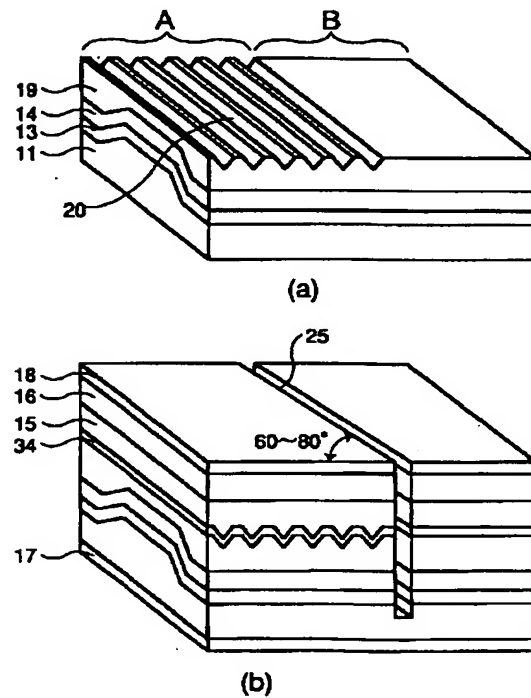
【図9】



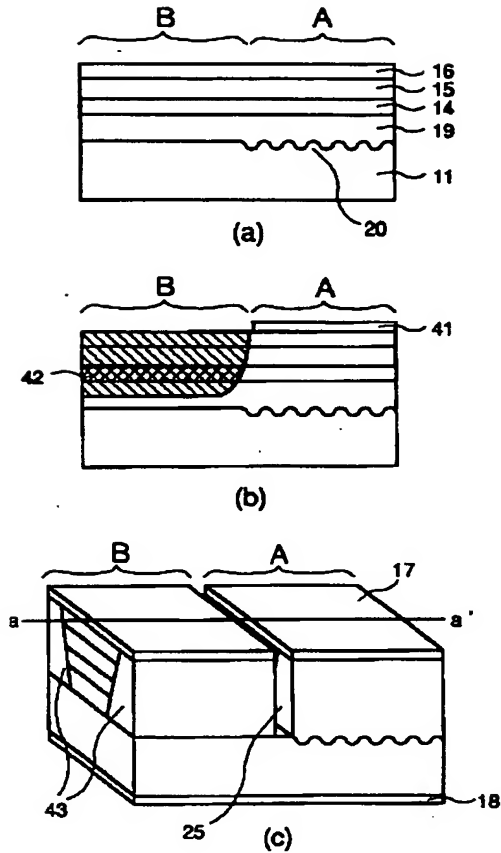
【図10】



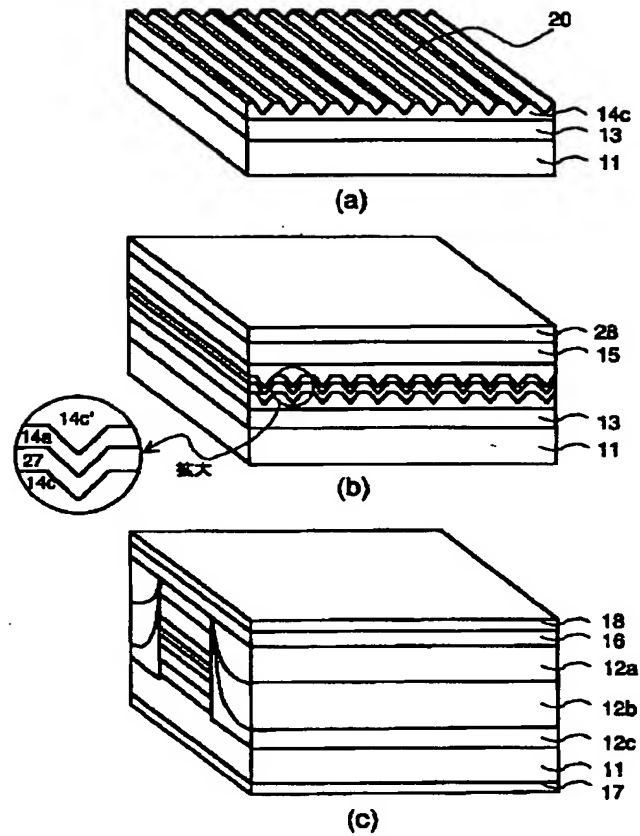
【図11】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

ターマコード (参考)

H O 1 L 31/0232

H O 1 L 27/14

D

// H O 1 L 21/203

31/02

Z

D

F ターム (参考) 4M118 AA10 AB10 BA02 CA01 FC03  
FC17 GA10

5F045 AA04 AB10 AB17 AB18 AC01  
AC08 AC12 AD10 AF04 AF12  
AF13 CA09 CA12 CA13 DA55  
DA63 DQ08 EE19 HA14

5F073 AA20 AA26 AA45 AA64 AA73  
AA74 AA86 AB04 AB13 AB25  
CA07 CA17 DA05 DA06 EA02  
5F088 AA03 AB07 BA15 CB04 EA09  
GA05 LA01 LA09

5F103 AA04 BB06 BB59 DD03 DD05  
DD08 DD30 HH03 LL03 LL04  
LL17 PP06 RR01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**